

ANÁLISIS DE PRE-FACTIBILIDAD PARA EL ESTUDIO DE OPCIONES DE ELECTRIFICACIÓN PARA EL MUNICIPIO DE SIPÍ, CHOCÓ

AUTOR

JESSICA LORENA MARTÍN SUÁREZ

Ingeniera Civil – Universidad Militar Nueva Granada
u1301654@unimilitar.edu.co

**Artículo Trabajo Final del programa de Especialización en Gerencia Integral de
Proyectos**

DIRECTOR

Ing. Diógenes Alexander Garrido Ríos Ph.D.

Ingeniero Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Magíster en Economía de la Universidad Nacional de Colombia
Doctor en Ingeniería de la Universidad de Warwick
Profesor Asistente Ingeniería Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada
diogenes.garrido@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
JUNIO DE 2020**

ANÁLISIS DE PRE-FACTIBILIDAD PARA EL ESTUDIO DE OPCIONES DE ELECTRIFICACIÓN PARA EL MUNICIPIO DE SIPÍ, CHOCÓ

PRE-FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE STUDY OF ELECTRIFICATION OPTIONS FOR THE MUNICIPALITY OF SIPÍ, CHOCÓ

Jessica Lorena Martín Suárez
Estudiante Especialización en Gerencia Integral de Proyectos, Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá D.C, Colombia
u1301654@unimilitar.edu.co

Alexander Garrido
Tutor Especialización en Gerencia Integral de Proyectos, Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá D.C, Colombia
diogenes.garrido@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El objetivo de este artículo es realizar un análisis de pre-factibilidad de alternativas que permitan el acceso apropiado al servicio de energía eléctrica a los habitantes del municipio de Sipí, Chocó. Para su desarrollo, se tomó como referente la Metodología General Ajustada (MGA) desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para proyectos de inversión, analizando para ello cuatro alternativas de electrificación: energía fotovoltaica, energía eólica, energía de pequeñas centrales hidroeléctricas y energía híbrida. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, los cuales sugieren la alternativa más adecuada a nivel técnico y financiero de acuerdo a las características del municipio, los factores clave a tener en cuenta en un posterior análisis de factibilidad y la importancia de este análisis de pre-factibilidad como instrumento para la toma de decisiones dentro del análisis de pre-inversión del proyecto de electrificación del municipio.

Palabras clave: Energía eléctrica, análisis de pre-factibilidad, análisis de pre-inversión, proyecto.

ABSTRACT

The objective of this article is to carry out an analysis of the pre-feasibility of alternatives that allow the people of the municipality of Sipí, Chocó, to have appropriate access to electricity service. For its development, reference was made to the Adjusted General Methodology (AGM) developed by the National

Planning Department (NPD) for investment projects, analyzing four electrification alternatives: photovoltaic energy, wind energy, small hydropower and hybrid energy. Finally, the results obtained are presented, which suggest the most suitable alternative at technical and financial level according to the characteristics of the municipality, the key factors to be taken into account in a subsequent feasibility analysis, and the importance of this pre-feasibility analysis as a decision-making tool within the pre-investment analysis of the municipality's electrification project.

Key words: Electrical energy, pre-feasibility analysis, pre-investment analysis, project.

1. INTRODUCCIÓN

En la planeación de cualquier proyecto hay momentos cruciales que definen si una simple idea para solucionar un problema puede llegar a convertirse en un verdadero desarrollo, es por esto que una poderosa herramienta para la toma de decisiones dentro del análisis de pre-inversión de todo proyecto es el análisis de pre-factibilidad. Su finalidad es la profundización de la investigación en fuentes primarias y secundarias en relación al estudio de mercado, especificando la tecnología a emplear, calculando los costos y rentabilidad del proyecto, es la herramienta utilizada por los inversionistas para tomar una decisión (Córdoba 2011).

En la actualidad, el municipio de Sipí en el departamento de Chocó no goza de un adecuado servicio de energía eléctrica para sus habitantes y pese a los esfuerzos del Gobierno, esta situación persiste en la actualidad. En este contexto, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar el acceso limitado al servicio de energía eléctrica para los habitantes del municipio de Sipí, Chocó?. De esta forma, el objetivo principal del presente artículo es realizar un análisis de pre-factibilidad para estudiar diferentes alternativas de electrificación del municipio, entre estas, fuentes no convencionales de energía renovable (FNCR), las cuales constituyen aquellas fuentes o recursos que no son ampliamente utilizados ni comercializados pero que están disponibles y son ambientalmente sostenibles por ser recursos renovables, dentro de los cuales se encuentran los aprovechamientos hidroeléctricos, energía eólica, energía solar, entre otros (Congreso de Colombia, 2014).

Para el desarrollo del análisis de pre-factibilidad se utilizaron como base los lineamientos establecidos en la Metodología General Ajustada (MGA) desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para proyectos de inversión. Este artículo presenta cuatro secciones: la descripción del problema a resolver, antecedentes de la solución propuestos por investigadores y por el Gobierno en la materia, resultados obtenidos y discusión y finalmente las conclusiones más relevantes del análisis de pre-factibilidad realizado.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Sipí es un municipio del departamento del Chocó, ubicado a 79 km de Quibdó, en el sur del departamento (Alcaldía Municipal de Sipí, s.f.). Según el Acuerdo

N° 010 de 2016, el cual adoptó el Plan de Desarrollo Municipal “Devolviendo Confianza 2016-2019”, el municipio se encuentra aislado del Sistema de Interconexión Nacional, por lo tanto, se encuentra dentro de las Zonas No Interconectadas (ZNI).

En la actualidad, el servicio de energía se presta gracias al funcionamiento de varias plantas diésel de diferentes capacidades que suministran en promedio cinco (5) horas de energía diaria (Concejo Municipal de Sipí, 2016). De acuerdo con el informe de gestión 2016-2019 del Alcalde Luis Ángel Largacha, durante este periodo de tiempo se evidenció la adjudicación de millonarios contratos de suministro de combustible (ACPM y gasolina) generando unos costos importantes y en aumento año tras año (Alcaldía Municipal de Sipí, s.f.).

Además de las dificultades en la prestación del servicio de energía, este municipio no posee red vial, aunque el transporte de los habitantes se realiza por medio fluvial, no existe infraestructura portuaria. Sumado a lo anterior, este municipio es vulnerable al cambio climático, se presentan con frecuencia inundaciones que afectan toda la actividad económica y además, se encuentra en zona de amenaza sísmica alta: el 91,53% se encuentra en zona de alto riesgo por inundaciones y/o deslizamientos (Concejo Municipal de Sipí, 2016).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se hace necesario analizar alternativas de electrificación para brindar una solución eficaz a la problemática anteriormente expuesta, para que la población de Sipí pueda disfrutar de un servicio de energía eléctrica apropiado y continuo, en pro de una mejora sustancial de la calidad de vida sus habitantes.

3. ANTECEDENTES DE LA SOLUCIÓN

Teniendo en cuenta que no existen referentes investigativos específicos para el municipio de Sipí, se mostrarán los resultados del trabajo investigativo de algunos autores en energías renovables para su uso y aplicación en el Departamento del Chocó y en Zonas No Interconectadas, las cuales comparten características geográficas, poblacionales y ambientales similares a las del municipio objeto de estudio; adicionalmente, vale la pena destacar la labor que ha realizado el Gobierno Nacional como antecedente clave para el desarrollo de este artículo.

3.1. INVESTIGACIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES EN ZNI

3.1.1. Energía fotovoltaica:

Es el resultado de convertir la luz del sol en electricidad, la cual se almacena en baterías y no es contaminante (Bustos et al., 2014). Agudelo et al. (2017) realizaron la evaluación de series de datos climáticos de radiación solar y temperatura en Quibdó, con el fin de obtener valores promedio que les permitiera determinar la factibilidad para llevar a cabo la implementación de Sistemas de Generación de Energía Fotovoltaica Conectados a la Red Eléctrica (SFCR) empleando la herramienta RETScreen, la cual cuenta con diferentes parámetros técnicos y financieros que permitieron a los autores realizar la evaluación de la viabilidad de estos proyectos.

3.1.2 Energía eólica:

Se obtiene de la fuerza de los vientos por el movimiento de corrientes de aire (Bustos et al., 2014). Esteve (2011) estudió alternativas para la solución de energización de los pequeños centros poblados (menos de 500 habitantes) de 49 municipios pertenecientes a Zonas No Interconectadas de Colombia, dichas alternativas correspondientes a la generación de energía eólica y solar. Su metodología se encaminó a evaluar la pre-factibilidad y conveniencia económica, diseñando un método de comparación entre los costos de generación de las energías alternativas propuestas en contraste con los costos actuales de prestación del servicio con y sin subsidios.

3.1.3. Energía de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH):

Se obtiene de la transformación de la energía potencial y cinética de un cauce de agua en energía eléctrica mediante un conjunto de obras civiles y equipos electromecánicos e hidráulicos denominados pequeña central hidroeléctrica (Morales et al., 2014). Martínez et al. (2018) investigaron la generación de energía eléctrica mediante pequeñas centrales hidroeléctricas, esto con el fin de dar solución a la energización de las Zonas No Interconectadas en el departamento de Nariño, la metodología desarrollada por los autores fue la Metodología PLM (Product Lifecycle Management) o Ciclo de Vida del Producto.

3.1.4. Energía híbrida

Corresponde a aquella que se conforma por dos o más fuentes de producción de energía eléctrica (Bustos et al., 2014). Guacaneme et al. (2007) plantearon un sistema de generación de energía eléctrica donde la demanda era atendida directamente por una fuente renovable de energía, cuando la carga de las baterías se encontraba al 40%-50% de su capacidad, se activaba la planta diésel o gas para recargar las baterías. Puertas (2016) diseñó clústers prototipo (agrupaciones de localidades similares) de sistemas híbridos que surgían de la combinación de energía solar, eólica, hidráulica y diésel como alternativa para la electrificación sostenible de las Zonas No Interconectadas ubicadas en la Región Pacífica, el enfoque utilizado fue cuantitativo deductivo de tipo aplicado y exploratorio. Castillo et al. (2014) presentaron una metodología cronológica fundamentada en las técnicas Hongxing y Diaf para configurar un sistema híbrido (eólico-solar) con baterías para el almacenamiento de energía al sur de Uribia, La Guajira.

3.2. LABORES DEL GOBIERNO NACIONAL

3.2.1. Documento CONPES 3600 del 10 de agosto de 2009:

Este documento denominado “Importancia estratégica del proyecto de interconexión eléctrica de los municipios de Medio San Juan, Medio Baudó, Bajo Baudó y Sipí del departamento del Chocó” resalta la relevancia de aumentar la cobertura, mejorar la calidad del servicio eléctrico y sustituir el uso de combustibles fósiles para la generación de energía en estos municipios.

3.2.2. Contrato de obra N° DG-032-2017

Suscrito el 28 de diciembre de 2017 entre la Empresa Distribuidora del Pacífico S.A. E.S.P - DISPAC S.A. E.S.P. e INGELEC S.A.S para la “construcción de la interconexión eléctrica San Miguel – Sipí a 13.200 voltios, municipio de Sipí –

Chocó, que incluye el suministro, transporte e instalación de todos los componentes de redes”, por un valor de diez mil doscientos catorce millones trescientos treinta y siete mil doscientos treinta pesos (\$10.214.337.230) y plazo de catorce (14) meses. Consultando el Sistema Electrónico de Contratación Pública SECOP, no se tiene información específica de que sucedió con este proceso público a la fecha.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

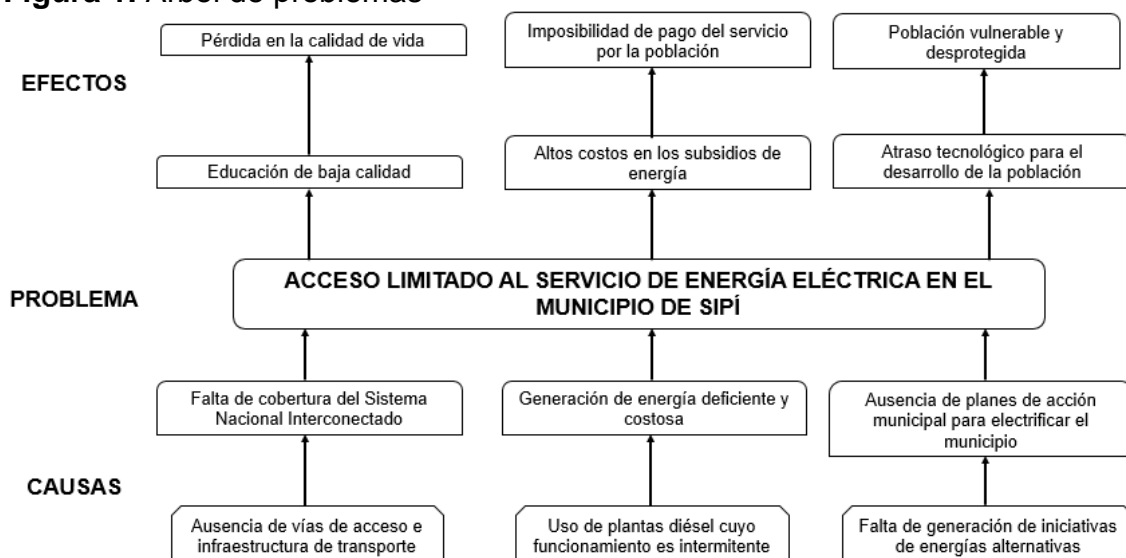
Aplicando la metodología propuesta para el análisis de pre-factibilidad para el estudio de opciones de electrificación para el municipio de Sipí, los resultados obtenidos se presentan en tres etapas: Identificación, Preparación y Evaluación.

4.1. ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN

4.1.1. Identificación del problema:

A continuación, se define el problema central (tronco), causas (raíces) y efectos (ramas) mediante el siguiente árbol de problemas:

Figura 1. Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Identificación de los participantes:

Una vez identificado el problema, sus causas y consecuencias, se procede a identificar los actores participantes, sus expectativas, posición frente al proyecto, nivel de importancia mediante dos variables: poder o nivel de autoridad valorado en escala de 1 a 10, e interés o nivel de preocupación valorado de igual forma en escala de 1 a 10, esto se puede observar con mayor detalle en el Anexo A de este artículo. Lo anterior se representa en una matriz poder/interés que permitirá establecer a futuro la estrategia de gestión de los interesados del proyecto (Izar, 2016):

Figura 2. Matriz Poder-Interés

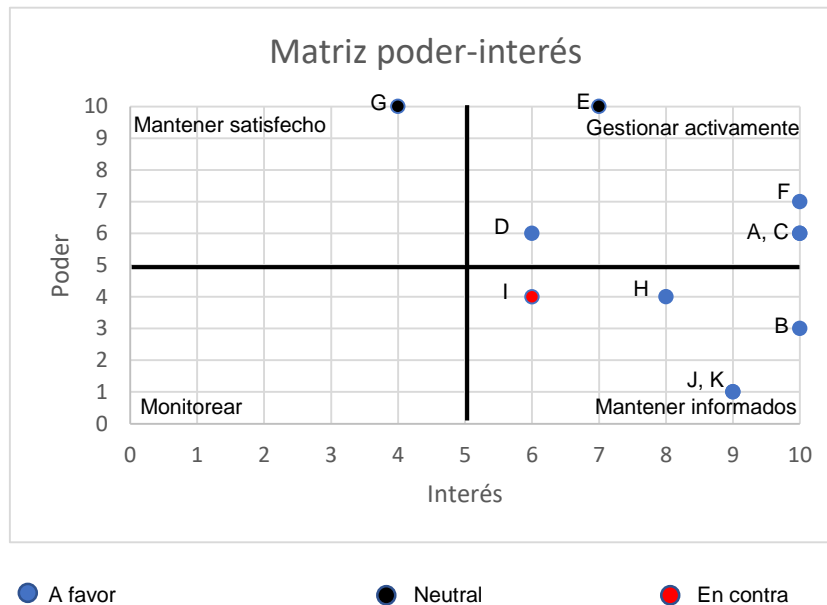


Tabla 1. Participantes

| N° | Participante | Nivel de importancia | |
|----|--|----------------------|-------|
| | | Interés | Poder |
| A | Alcaldía Municipal de Sipí | 10 | 6 |
| B | Habitantes del municipio | 10 | 3 |
| C | Empresa Distribuidora del Pacífico S.A. E.S.P. DISPAC S.A. E.S.P. | 10 | 6 |
| D | Centro de Investigación de Energía Renovables del Chocó | 6 | 6 |
| E | Ministerio de Minas y Energía | 7 | 10 |
| F | Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas | 10 | 7 |
| G | Ministerio de Transporte | 4 | 10 |
| H | Compañías de desarrollo de proyectos energéticos | 8 | 4 |
| I | Proveedores de combustible (diésel) | 6 | 4 |
| J | Municipio de San José del Palmar | 9 | 1 |
| K | Municipio de Litoral de San Juan | 9 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Identificación de la población afectada y población objetivo:

La población afectada y la población objetivo del proyecto son los habitantes del municipio de Sipí, departamento del Chocó; población afectada, ya que son los perjudicados directos de la problemática planteada y a su vez, población objetivo ya que todos los habitantes serán objeto de la intervención que se realizará con el proyecto. Se proceden a caracterizar en la siguiente tabla, con la información más relevante tomada del Plan de Desarrollo del Municipio “Devolviendo Confianza 2016-2019”, en el Anexo B de este artículo se visualiza de forma total la información de la población:

Tabla 2. Caracterización de la población objetivo

| | |
|---|---|
| Población total | 4.650 habitantes (2020) |
| Composición | 97% Población Afrodescendiente 3% Población Indígena |
| Niños, niñas y adolescentes | Afros (2367 personas) Indígenas (96 personas) * Cabecera municipal * Seis (6) corregimientos: Cañaveral, San Agustín, Santa Rosa, Tanando, Barracón (Taparal) y Charco Largo – La Unión. |
| División político-administrativa | * Siete (7) Veredas: La Marquesa, Teatino, Loma de Chupey, Las Brisas, Charco Hondo, Chambacú y Sanandosito (comunidad indígena) |

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en la siguiente figura se realiza la geolocalización del municipio dentro del Departamento de Chocó:

Figura 3. División Política Administrativa Departamento del Chocó

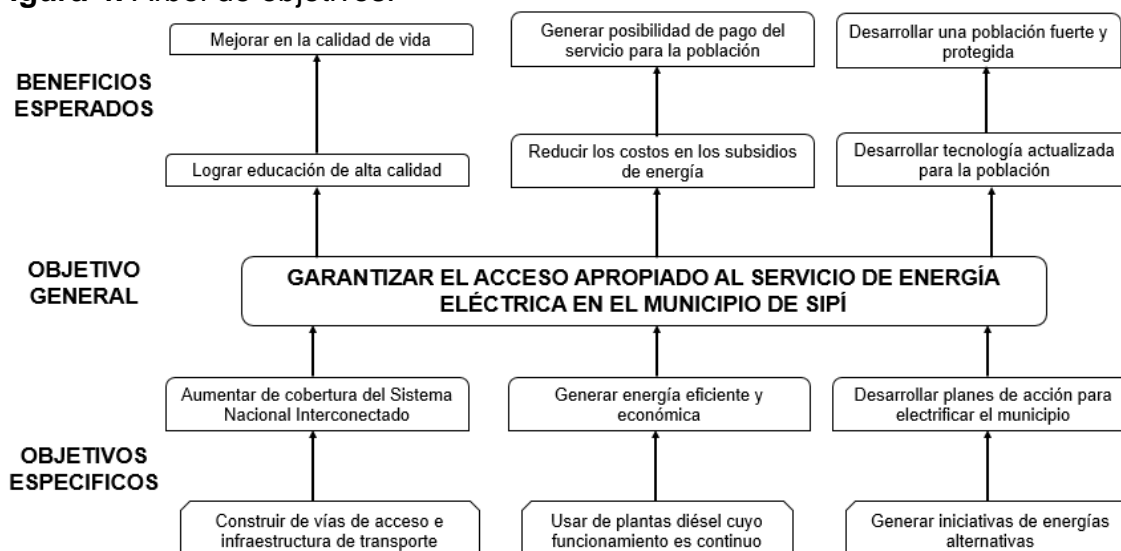


Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

4.1.4. Identificación de la situación deseada y objetivo general:

Para ello, se tomará como referente el árbol de problemas presentado en 4.1.1., donde el problema identificado determina el objetivo general, las causas determinan los objetivos específicos y los efectos determinan los beneficios que se desean lograr con el proyecto. Se obtiene entonces el siguiente árbol de objetivos:

Figura 4. Árbol de objetivos.



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Identificación de alternativas de solución.

Teniendo en cuenta el árbol de objetivos planteado previamente, se estudiaron todas las alternativas de solución posibles al problema identificado y mediante la técnica denominada “embudo de soluciones” se descartaron las alternativas que resultaron inviables técnicamente sin realizar estudios de fondo (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2015):

Tabla 3. Alternativas de solución

| Objetivos específicos | Acciones de intervención posibles |
|---|---|
| 1. Aumentar la cobertura del Sistema de Interconexión Nacional. | 1. Desarrollo de proyectos públicos de conexión del municipio al SIN. |
| 2. Generar energía eficiente y económica | 2. Generación de energía solar fotovoltaica. 3. Generación de energía eólica. 4. Generación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) (energía hidráulica). 5. Generación de energía con biomasa. 6. Generación de energía híbrida. 7. Generación de energía de los mares. 8. Generación de energía con biogás. 9. Generación de energía geotérmica. |
| 3. Desarrollar planes de acción para electrificar el municipio | 10. Formulación de programas ambientales de acceso a tecnologías de energías limpias. |

Fuente: Elaboración propia

Se descartaron las alternativas 1 y 10, ya que estas dependen de los recursos públicos que invierta el Estado para su realización y como se observó en la sección de Antecedentes de la Solución, ya existe un contrato de obra para la conexión del municipio al Sistema Interconectado Nacional; por su parte la formulación de programas ambientales es competencia del Gobierno Municipal. Las alternativas 7, 8 y 9 se descartaron por falta de estudios e investigación a profundidad en la zona que fundamenten su ejecución.

En relación a la generación de energía con biomasa (alternativa 5), Escobar et al. (2019) evaluaron diferentes alternativas “ambientalmente sustentables” para dar solución a la problemática de contaminación en los ríos que generan los residuos de madera de los aserraderos y ebanistas en los municipios de Quibdó y Riosucio, ubicados en el Chocó. Los autores plantearon dos usos de los residuos: generación de energía alternativa y fabricación de pélets de madera, sin embargo, la energía obtenida es térmica, no eléctrica. De acuerdo con la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, la potencia de la energía de biomasa es menor a 1 MW y tiene un rendimiento eléctrico del 28-32%, por lo que su uso no es generalizado propiamente en la generación de energía eléctrica (Bustos et al, 2014).

De esta manera y con base en los trabajos investigativos expuestos previamente, este estudio de pre-factibilidad analizará las alternativas 2, 3, 4 y 6.

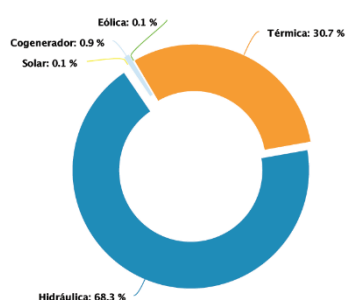
4.2. ETAPA 2: PREPARACIÓN:

4.2.1. Análisis de necesidades:

Luego de desarrollar la etapa de identificación, se requiere conocer la oferta y demanda del producto que entregará cada una de las alternativas, para este caso el producto es el mismo: energía eléctrica.

Oferta: De acuerdo a la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica ACOLGEN, la capacidad instalada actual en el país es de 17.203 MW y se distribuye de acuerdo a la Figura 5; también, se muestra la distribución de las plantas generadoras de energía, observando una especial predominancia en la generación de energía eléctrica por medio de plantas hidráulicas y térmicas:

Figura 5. Capacidad instalada y generación de energía eléctrica en Colombia



Fuente: ACOLGEN, 2020

La prestación del servicio público de energía eléctrica en el municipio del Chocó está a cargo de la Electrificadora del Pacífico DISPAC S.A. E.S.P.; su cobertura es parcial ya que no suministra el servicio a la totalidad de los municipios del departamento, entre estos, el municipio de Sipí.

Demanda: Para establecer la demanda, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Cálculo del número de familias: Se tomó como referente el total de habitantes aproximado (4.650) del año 2020 según la información de la Alcaldía Municipal de Sipí. De acuerdo al censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el año 2005, aproximadamente el 65,1% de los hogares tiene cuatro (4) o menos personas, por lo tanto, se consideró un referente promedio de cuatro (4) habitantes por familia. De esta forma, el número total aproximado de familias (FT) está dado por:

$$FT = \frac{4650 \text{ habitantes}}{4 \text{ habitantes/familia}} = 1163 \text{ familias}$$

2. Cálculo de la corriente: Para calcular la demanda de energía, se calcula en primera instancia la corriente I en amperios (Dawes, 1975):

$$I = \frac{kVA \times 1000}{\sqrt{3} \times 220V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde I es la corriente en amperios y kVA es la potencia en kilovoltio-amperio. Al no contar con información específica de la capacidad de generación de las 15 plantas existentes en el municipio y no poder realizar una visita de campo, se tomó como base una potencia 646 kVA, correspondientes a la carga de los transformadores a instalar en el municipio de acuerdo al proyecto de conexión con el Sistema Interconectado Nacional (DISPAC S.A. E.S.P, 2017). Por lo tanto:

$$I = \frac{646 \text{ kVA} \times 1000}{\sqrt{3} \times 220V} = 1695 \text{ A}$$

3. Cálculo de la potencia: Para hallar la potencia P en kilowatts (kW) se utiliza la siguiente ecuación (Dawes, 1975):

$$P = \frac{I \times 220V \times \sqrt{3} \times FP}{1000} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde FP es factor de potencia. De acuerdo al Informe Mensual de Telemetría del mes de mayo de 2016 realizado por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE) para el municipio de Sipí, el factor potencia promedio es de 0,95. Entonces:

$$P = \frac{1695 \text{ A} \times 220V \times \sqrt{3} \times 0,95}{1000} = 613,58 \text{ kW}$$

4. Cálculo de la potencia total del sistema: Para hallar la potencia total PT en kilowatts (kW) se utiliza la siguiente ecuación (Dawes, 1975):

$$PT = 3 \times P \quad \text{Ecuación 3}$$

Por lo tanto:

$$PT = 3 \times 613,58 \text{ kW} = 1840,74 \text{ kW}$$

5. Calculo de las familias dada PT : Con la potencia total PT y conociendo que el consumo de una unidad residencial es de 3 kW (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 1997), se obtiene el número de familias (F) que se abastecerán con una potencia de 1840,74 kW:

$$F = \frac{PT}{3 \text{ kW}} = \frac{1840,74 \text{ kW}}{3 \text{ kW}} = 613,58 \approx 614 \text{ familias}$$

6. Calculo de la demanda total de energía: Finalmente, se calcula la demanda (D) para las 1163 familias del municipio, partiendo de la base de que se requiere una potencia de 1840,74 kW para 614 familias:

$$D = \frac{1163 \text{ familias} \times 613,58 \text{ kW}}{614 \text{ familias}} = 1162 \text{ kW} \approx 1200 \text{ kW} = 1,2 \text{ MW}$$

4.2.2. Análisis técnico:

Las cuatro alternativas analizadas deben localizarse al interior del municipio de Sipí teniendo en cuenta que actualmente la infraestructura en materia de

transporte y vías de acceso es precaria. Los demás aspectos técnicos de las alternativas analizadas en cuanto a sus componentes y normatividad aplicable se encuentran detalladas en el Anexo C de este artículo. Vale la pena resaltar que, al constituir fuentes de energía renovables, las alternativas deben estar alineadas dentro de la Ley 1715 de 2014.

4.2.3. Cadena de valor:

La cadena de valor se representará mediante la estructura de desglose de trabajo (EDT). Los costos fueron estimados utilizando el aplicativo GeoLCOE V.2 del Sistema de Información Eléctrico Colombiano de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el cual permite estimar costos nivelados de generación de energía eléctrica (LCOE) para tecnologías de energía renovable. Se utilizó estimación ascendente desde los paquetes de trabajo de la EDT para obtener el valor final de cada alternativa en USD/kW año. Los resultados se presentan a continuación y con mayor detalle en el Anexo D de este artículo:

Tabla 4. Costos nivelados de generación de energía eléctrica

| Alternativa | Vida útil | Potencia * | Costo Inversión USD/kW |
|------------------------|-----------|------------|------------------------|
| Energía fotovoltaica | 30 años | 20 MW | 4.825,47 |
| Energía eólica | 30 años | 10 MW | 9.378,45 |
| Energía hidráulica PCH | 30 años | 1.2 MW | 5.526,28 |
| Energía híbrida** | 30 años | 20 MW | 4.825,47 |

Fuente: Elaboración propia

* Se trabajó con las potencias permitidas para cada modelo por GeoLCOE V.2.

**No se está contemplando inversión en plantas diesel, por lo tanto su costo de inversión corresponde al de la energía fotovoltaica.

4.2.4. Análisis de riesgos:

Teniendo en cuenta que las cuatro alternativas pueden presentar los mismos riesgos ya que constituyen fuentes no convencionales de energía renovables, se realizó un análisis cualitativo de riesgo mediante la técnica de la matriz probabilidad (P) e impacto (I), con el fin de valorar aquellas situaciones que puedan perjudicar el desarrollo de los objetivos del proyecto. Se utilizaron las definiciones y matriz de probabilidad e impacto del PMBOK Sexta Edición (Project Management Institute, 2017) y las escalas de valoración del riesgo de Izar (2016); los resultados completos del análisis se detallan en el Anexo E, se destacan a continuación los riesgos que obtuvieron la valoración más alta:

Tabla 5. Valoración de riesgos

| Tipo | Descripción | P | I | Puntaje | Escala |
|-------------|--|------|------|---------|---------|
| Técnicos | Difícil acceso al municipio | 0,90 | 0,80 | 0,72 | Elevado |
| Financieros | Dificultades en la obtención de los subsidios (para la alternativa de energía híbrida) | 0,90 | 0,40 | 0,36 | Elevado |

Fuente: Elaboración propia

4.3. ETAPA 3: EVALUACIÓN

4.3.1. Elaboración del flujo de caja financiero

Finalmente, se elaboró el flujo de caja financiero de cada una de las alternativas estudiadas bajo los siguientes parámetros y el cual se detalla en el Anexo F:

Tabla 6. Parámetros para la evaluación financiera

| Parámetro | Valor | Referencia |
|--|--------------------------|---|
| Demanda | 1.2 MW | Obtenida en 4.2.1. |
| Costos de inversión | De acuerdo a cada modelo | Obtenida en 4.2.3 |
| Costos de operación y mantenimiento energía fotovoltaica | 70,72 USD/kW | Unidad de Planeación Minero Energética (s.f.) |
| Costos de operación y mantenimiento energía eólica | 82,15 USD/kW | Unidad de Planeación Minero Energética (s.f.) |
| Costos de operación y mantenimiento energía de PCH | 122,08 USD/kW | Unidad de Planeación Minero Energética (s.f.) |
| Horizonte de evaluación | 30 años | Unidad de Planeación Minero Energética (s.f.) |
| Tasa representativa del mercado (TRM) del 01-jun-2020 | \$ 3.718,82 | Banco de la República (2020) |
| Inflación promedio | 4% | Promedio Serie Histórica últimos 10 años Banco de la República (s.f.) |
| Tasa de interés de oportunidad | 5% | Bueno et al. (2016) |
| IVA | 19% | Congreso de Colombia (2016) |
| Salario Mínimo Mensual Vigente | \$ 877.803,00 | Presidencia de la República (2019) |
| Impuesto de renta | 32% | Presidencia de la República (s.f.) |
| Subsidio para la compra de combustible (sistema híbrido) | \$ 1.600.000.000 | Alcaldía Municipal de Sipí (2019) |

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se evidencian los resultados del Valor Presente Neto (VPN) utilizado como criterio para medir la factibilidad financiera de cada alternativa:

Tabla 7. Valor presente neto de cada alternativa

| Alternativa | VPN |
|------------------------|--------------------|
| Energía fotovoltaica | -\$ 27.031.356.037 |
| Energía eólica | -\$ 48.237.902.039 |
| Energía hidráulica PCH | -\$ 24.661.488.707 |
| Energía híbrida | \$ 3.553.648.919 |

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se sugiere como alternativa para la apropiada electrificación del municipio un sistema de pequeña central hidroeléctrica, debido a que es adecuado técnicamente para atender la demanda calculada para la población objetivo, permitirá aprovechar las fuentes hídricas del municipio y de la región y, de acuerdo al análisis financiero, obtiene un VPN negativo menor respecto a las demás alternativas, ya que sus costos de inversión son menores y su operación puede realizarse con personal de la zona debido a su fácil manipulación (Morales et al., 2014); la generación de energía híbrida se sugiere en segunda instancia ya que, aunque tiene un VPN positivo en relación a la energía hidráulica y permite aprovechar las plantas diésel existentes, debe reconsiderarse el valor del subsidio del Gobierno en combustible, teniendo en cuenta que la energía en esta alternativa no dependerá 100% de las plantas diésel. Por otro lado, debido a su alto costo y a que sus características técnicas están encaminadas a la atención de demandas muy superiores a las requeridas por el municipio de Sipí, las alternativas de energía eólica y fotovoltaica se descartan para dar solución a la problemática planteada.

Para dar paso al análisis de factibilidad dentro del análisis de pre-inversión de este proyecto se deberá profundizar en varios aspectos: En cuanto al análisis de necesidades, deberá realizarse un estudio de aforo que permita determinar el número exacto de usuarios del servicio; en relación al análisis técnico, la localización específica al interior del municipio de la alternativa sugerida deberá establecerse mediante la realización de un levantamiento topográfico, estudio de suelos y estudio hidrológico que permita determinar con más precisión las características reales de la zona; en cuanto a la evaluación financiera, se deberá revisar la necesidad de fuentes de financiación para la ejecución del proyecto; en relación a la evaluación socioeconómica, teniendo en cuenta las dificultades presentadas para obtener datos en campo directamente con la población del municipio a fin de valorar económicamente los beneficios y que este constituye un proyecto para atender una necesidad básica de la población objetivo, se recomienda centrar el estudio en el aspecto técnico y financiero de las alternativas en vez de calcular al detalle los beneficios esperados, debido a que ya se sabe con anticipación que el proyecto generara dichos beneficios (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2015).

Finalmente, el análisis de pre-factibilidad es un aspecto fundamental de cualquier proyecto, pues mide su viabilidad en relación a las condiciones de la vida real, con el objetivo de disminuir el margen de incertidumbre a la hora de tomar una decisión de inversión, permite saber si el proyecto se debe o no realizar (Vyas, 2009). Constituye entonces una primera herramienta que tiene como resultado final entregar la alternativa de solución más apropiada en relación a la problemática planteada, la cual debe profundizarse en un posterior análisis de factibilidad dentro del análisis de pre-inversión del proyecto para la adecuada electrificación del municipio de Sipí.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo Arias, H. D., Delgado Arroyo, L., & Aristizabal Cardona, A. J. (2016). Evaluación del potencial de generación fotovoltaica en la ciudad de Quibdó, Chocó. doi:<http://dx.doi.org/10.15765/e.v6i6.839>
- Alcaldía Municipal de Sipí. (2019). *Estudios Previos Licitación Pública No. N° 001 DE 2019 (MS- LP-001-2019*. Obtenido de <http://www.sipichoco.gov.co/noticias/suministro-de-combustible-para-las-plantas-generadoras>
- Alcaldía Municipal de Sipí. (s.f.). *Informe de Gestión 2016-2019*. Obtenido de https://sipichoco.micolombiadigital.gov.co/sites/sipichoco/content/files/000063/3119_informe-de-gestion-de-sipi--version-final--aaa.pdf
- Alcaldía Municipal de Sipí. (s.f.). *Nuestro Municipio*. Recuperado el 21 de Abril de 2020, de <http://www.sipi-choco.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica ACOLGEN. (s.f.). *La energía que impulsa a Colombia*. Obtenido de <https://www.acolgen.org.co/>
- Banco de la República. (2020). *Tasa Representativa del Mercado (TRM - Peso por dólar)*. Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/trm>
- Banco de la República. (s.f.). *Inflación total y meta*. Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta>
- Bueno, M., Rodríguez, L., & Rodríguez, P. (2016). Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema eléctrico colombiano. doi:<http://dx.doi.org/10.14482/inde.34.2.7282>
- Bustos, J., Sepúlveda, A., & Triviño, K. (2014). Zonas No Interconectadas Eléctricamente en Colombia - Problemas y Perspectiva. *Econógrafos Escuela de Economía*. Obtenido de <http://www.fce.unal.edu.co/centro-editorial/documentos/econografos-escuela-economia/1742-65-zonas-no-interconectadas-electricamente-en-colombia-problemas-y-perspectiva.html>
- Cámara Colombiana de la Construcción Camacol Antioquía. (s.f.). *4.2.5.3 Energía eólica*. Obtenido de <https://www.camacolantioquia.org.co/2018/TECNICO/GuiasDeConstruccion/Fichas/4.2.5.3..pdf>
- Castillo, A., Villada, F., & Valencia, J. (2014). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 18(39), 77-93. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4778482>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (1997). *Resolución 108*. Obtenido de <http://apollo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/5704b5b3164bd1620525785a007a63c3>

- Concejo Municipal de Sipí. (2016). *Plan de Desarrollo Devolviendo Confianza 2016-2019*. Obtenido de <http://www.sipi-choco.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-devolviendo-confianza-2016-2019>
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715. *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*.
- Congreso de Colombia. (2016). Ley 1819. *“Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones.”*.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2009). *Documento CONPES 3600*. Obtenido de <http://www.upme.gov.co/zni/portals/0/resoluciones/Conpes3600.pdf>
- Córdoba, M. (2011). *Formulación y Evaluación de Proyectos* (Segunda ed.). ECOE Ediciones.
- Dawes, C. L. (1975). *Electricidad Industrial* (Segunda ed., Vol. II). Editorial Reverté S.A.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s.f.). *Boletín Censo General 2005 Perfil Sipí - Chocó*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/choco/sipi.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2015). *Manual Conceptual de la Metodología General Ajustada (MGA)*. Manual Conceptual, Bogotá. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/MGA/Tutoriales%20de%20funcionamiento/Manual%20conceptual.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Proyecto Tipo - Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Individuales en Zonas No Interconectadas*. Bogotá. Obtenido de https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=136&Itemid=239
- DISPAC S.A. E.S.P. (2017). *Solicitud Pública de Ofertas DG-012-2017 - Terminos de Referencia*. Obtenido de <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=17-4-7348571>
- Escobar, J., Cañon, J., Aguilar, Y., Asprilla, D., & Maturana, J. (2019). Análisis del aprovechamiento sustentable de los residuos de la transformación de madera en dos municipios del Chocó (Colombia). doi:<http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.2.1271>
- Esteve, N. (2011). *Energización de las Zonas No Interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>

- Guacaneme, J., Trujillo, C., & Peña, R. (2007). Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas. *Revista Científica y Tecnológica de la Facultad de Ingeniería*, 12(1), 57-63. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797413>
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE). (s.f.). *Informe Mensual de Telemetría Mayo 1 - 31 de 2016*. Obtenido de http://190.216.196.84/CNM/Data/informes_telemetria/SIPI%20-%20SIPI%20-%20CHOCO%20-%20052016.pdf
- Izar, J. (2016). *Gestión y evaluación de proyectos*. Cengage Learning Editores.
- Martínez, D., Piamba, T., Fierro, A., & Gualguan, A. (2018). Caracterización y aprovechamiento del potencia energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas. doi:<http://doi.org/10.23850/22565035.1499>
- Martínez, M. (2007). *Pruebas de comportamiento de las turbinas francis - Normas de la IEC*. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4476/MariaPaulina_MartinezEscobar_2007.pdf?sequence=2
- Morales, S., Corredor, L., Paba, J., & Pachecho, L. (2014). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación. *Dyna*, 81(184), 178-185. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405025>
- Presidencia de la República. (2019). "Por el cual se fija el salario mínimo mensual legal".
- Presidencia de la República. (s.f.). Estatuto Tributario.
- Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) (Sexta ed.)*.
- Puertas, Y. (2016). *Electrificación sostenible de zonas no interconectadas de Pacífico Colombiano por medio de clusters prototipo de sistemas híbridos solar-eólico-hidro-diesel optimizados con Homer*. Tesis de Maestría, Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20475/PuertasGonzalezYurani2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (s.f.). *Costos Nivelados de Generación de Electricidad*. Obtenido de <http://www.geolcoe.siel.gov.co>
- Vyas, S. (2009). *Types of Feasibility Study, DPR and Their Importance*. Obtenido de <https://medium.com/@sanjaykvyas/all-about-pre-feasibility-study-feasibility-study-and-detailed-project-report-17b2860eca9c>